

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN
TRANSFORMATOR 3 PHASE TERHADAP SUSUT DAYA PADA
JARINGAN DISTRIBUSI PT. PLN (PERSERO) ULP MANAHAN**



Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata 1 pada

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Oleh :

RAHAYU DWI LESTARI

D 400 181 135

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2019

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR 3
PIHASE TERHADAP SUSUT DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT. PLN (PERSERO)
ULP MANAHAN**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

RAHAYU DWI LESTARI

D 400 181 135

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen pembimbing



Umar, ST .MT

NIK. 731

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR 3
PHASE TERHADAP SUSUT DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT. PLN (PERSERO)
ULP MANAHAN**

OLEH :

RAHAYU DWI LESTARI

D 400 181 135

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Senin, 30 Desember 2019

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Umar, S.T., M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

(.....)

2. Tindyo Prasetyo, S.T., M.T.

(Anggota 1 Dewan Penguji)

(.....)

3. Agus Supardi, S.T., M.T.

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

Dekan,



(Signature of Dekan)

Dr. Sunarjono, M.T.Ph.D

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 30 Desember 2019

Penulis



RAHAYU DWILESTARI

D 400 181 135

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR 3 PHASE TERHADAP SUSUT DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT. PLN (PERSERO) ULP MANAHAN

Abstrak

Sistem distribusi tenaga listrik tidak terlepas dari adanya transformator distribusi 3 phase yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan nilai tegangan utama dari sistem distribusi listrik untuk tegangan pemanfaatan penggunaan konsumen. Saat perencanaan, pembagian beban transformator setiap phasesnya akan dirancang secara seimbang, namun kenyataannya beban setiap phase akan sulit bernilai seimbang dikarenakan menggunakan beban setiap phase oleh konsumen berbeda-beda. Apabila hal ini terjadi, maka akan menimbulkan susut daya yang akan merugikan pihak PT.PLN (Persero) selain itu juga mengurangi tingkat efisiensi tenaga listrik. Perhitungan dan simulasi dengan ETAP 12.6.0 terhadap pengaruh ketidakseimbangan beban transformator bertujuan agar pihak penyedia tenaga listrik mengetahui trafo mana saja yang memiliki nilai ketidakseimbangan besar dan mengantisipasi hal tersebut dengan melakukan penyeimbangan beban agar susut daya yang dihasilkan bernilai kecil. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada trafo distribusi wilayah kerja ULP Manahan diperoleh nilai susut daya terbesar pada trafo JJR010/JJR02 070 U012 T04 yaitu sebesar 1281,752 Watt untuk susut daya akibat penghantar netral dan 1013,76 Watt untuk susut daya akibat arus yang mengalir ke tanah.

Kata kunci : Ketidakseimbangan, Susut Daya , Software ETAP 12.6.0.

Abstract

Electrical power distribution system is inseparable from the 3 phases distribution transformer that has function to step up and step down the main voltage value from the electrical distribution system for the voltage utilization of consumer use. During the design of the electrical distribution system, the distribution of the load transformers for each phase will be designed in a balanced manner, but in reality the load of each phase will be difficult to be balanced because the load usage of each phase are different. If that thing happens, it will cause a shrinkage of the power that will harm PT PLN (Persero) and also it will reduce the level of electricity efficiency. The calculation and simulation with ETAP 12.6.0 on the influence of imbalance transformer load, aims to make the electricity provider knows which transformer have large imbalance value and anticipate it by balancing the load so that, the resulting loss of power has small value. Based on the analysis that has been done on the distribution transformer of the ULP Manahan working area, the largest power loss value in the transformer JJR010 / JJR02 070 U012 T04 is 1281,752 Watt for power losses due to neutral conductor and 1013.76 Watt for power losses due to the current flowing to the ground.

Keywords: Imbalance, Shrinkage, ETAP 12.6.0 Software.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama bagi masyarakat Indonesia. Apabila energi listrik tidak tersedia, maka akan mengganggu kehidupan di masyarakat dan sistem industri. Seiring dengan perkembangan sistem industri, sistem energi listrik juga harus berkembang dalam meningkatkan efisiensinya. Pentingnya energi listrik bagi kehidupan di masyarakat dan industri menuntut PT PLN (Persero) selaku penyedia energi listrik harus dapat menyediakan energi listrik secara stabil. Agar dapat menyediakan energi listrik yang stabil dan memiliki efisiensi yang tinggi PT PLN (Persero) harus dapat menekan nilai dari susut daya (*losses*).

Susut daya ditinjau dari penyebabnya dibagi menjadi dua jenis yaitu susut teknis yang penyebab penyusutannya berasal dari adanya impedansi pada peralatan distribusi sedangkan susut non teknis penyebab penyusutannya berasal dari kesalahan dalam pembacaan alat ukur, kalibrasi alat ukur, ataupun kesalahan yang bersifat administratif lainnya (Yuntyansyah, 2014). Susut teknis di sistem distribusi listrik salah satunya terjadi pada transformator distribusi 3 *phase* dikarenakan pembebanan yang tidak seimbang pada masing- masing fasenya.

Pembebanan yang tidak seimbang ini disebabkan karena saat pasang baru atau penambahan daya pada pelanggan kurang diperhatikan keseimbangan arus beban antar fase (Tobing, 2014). Akibat dari adanya beban yang tidak seimbang ini akan menyebabkan timbulnya arus netral pada penghantar netral ataupun penghantar tanah (*ground*) yang menyebabkan susut daya karena kedua penghantar tersebut mempunyai resistansi (Syahputra & Harahap 2017).

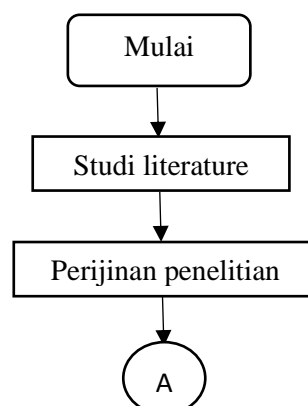
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh waluyo (2017) yang berjudul *calculation analysis of power losses on the medium voltage feeders and distribution transformers* yang melakukan perhitungan *losses* sistem distribusi

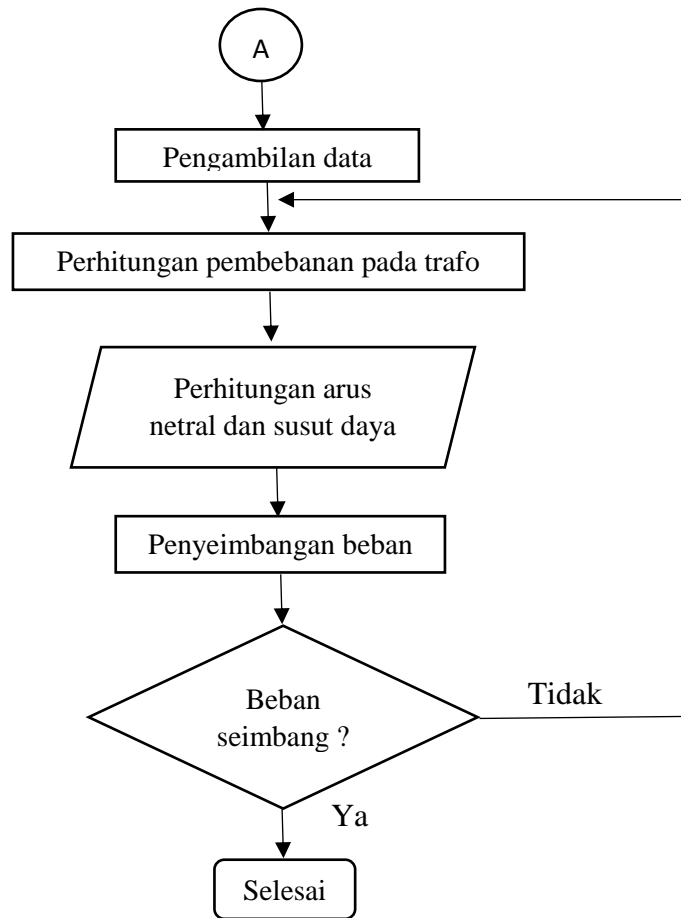
sehingga dapat diketahui nilai susut daya yang kedepannya dapat diminimalisir sehingga akan mengurangi nilai kerugian pada PLN. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Dickson K dkk (2009) menyatakan bahwa ketidakseimbangan beban pada jaringan distribusi disebabkan oleh 3 alasan yaitu beban yang tidak merata dalam berbagai fase, operasi parsial garis dan elemen lain di jaringan, serta parameter garis yang berbeda dalam fase yang berbeda.

Prakteknya, sistem distribusi 3 *phase* seimbang sangat sulit untuk dicapai karena perbedaan tingkat dan waktu kebutuhan listrik antar pelanggan dengan pelanggan yang lain. Akan tetapi susut daya yang diakibatkan ketidakseimbangan beban antar *phase* pada transformator 3 *phase* dapat diminimalisir dengan menyeimbangkan nilai beban. Hal tersebut yang melatarbelakangi penulis untuk melakukan analisis pengaruh ketidakseimbangan beban transformator 3 *phase* terhadap susut daya pada jaringan distribusi PT. PLN (Persero) ULP Manahan.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *study literature* dengan melakukan pengumpulan data dan informasi yang relevan dengan topik pembahasan pada penelitian ini. Selain *study literature*, metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu observasi atau mengamati objek yang diteliti dalam hal ini yaitu transformator distribusi 3 *phase*. Metode lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah diskusi dan konsultasi yang dilakukan dengan dosen pembimbing dan pegawai di ruang lingkup PT.PLN (Persero) ULP Manahan. Demi memperjelas metode penelitian yang digunakan, berikut akan ditampilkan *flowchart* penelitian.





Gambar 1 *Flowchart* Penelitian

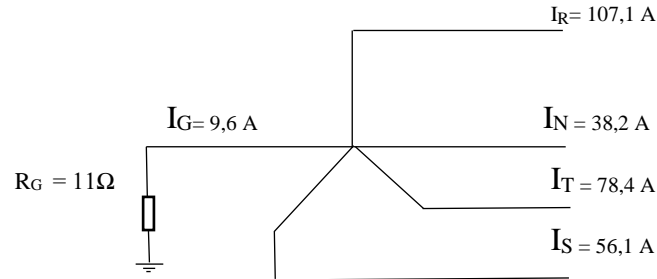
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Pembebanan Transformator

Analisis pembebanan transformator dilakukan untuk mengetahui persentase pembebanan pada transformator. Apabila pada waktu beban puncak, pembebanan transformator melebihi kapasitas yang tertera pada nameplate atau persentase melebihi 100% maka akan terjadi *overload* atau beban lebih. *Overload* pada transformator akan mengakibatkan suhu pada transformator menjadi tinggi, dan apabila hal tersebut terjadi secara terus menerus akan memperpendek umur isolasi.

Skema aliran arus transformator diatas merupakan skema arus pada transformator sistem hubung bintang (Y) pada *feeder* jajar 10 dengan nomor

tiang JJR010/JJR02 070 U012 T04. Nilai arus yang tertera pada skema aliran arus pada gambar 2 diperoleh berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada tanggal 1 Oktober 2019 pada pukul 19.15.



Gambar 2 Skema Aliran Arus Transformator

Berikut merupakan nameplate trnsformator yang digunakan di ULP Manahan dengan nomor tiang JJR010/JJR02 070 U012 T04.

Tabel 1 Nameplate Transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04

No	Nameplate	Keterangan
1	Produsen / merk	Sintra
2	Standart pembuatan	SPLN D3.002-1:2007
3	Jumlah phase/ frekuensi	3 / 50 Hz
4	Daya pengenalan (S)	160 kVA
5	Hubungan	YN/yn0
6	Tegangan pengenalan (V)	18.000-20000V/ 400V
7	Arus pengenalan	4,619 A / 230,9 A
8	Tegangan hubung singkat	4,0%
9	Rugi tanpa beban/berbeban	300-2000 Watt
10	Bahan belitan primer-sekunder	Cu-Al
11	Jenis minyak	Mineral
12	Pendinginan	ONAN
13	Kenaikan suhu minyak/kumparan	50°C / 55
14	Volume minyak	125 Lt
15	Berat total	790 Kg

Sebelum melakukan perhitungan pembebanan pada transformator, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai arus beban penuh/*full load* (I_{fl})

dengan menggunakan nilai dari daya pengenal (S) dan tegangan pengenal (V) transformator yang tertera pada nameplate tabel 4.1.

$$\begin{aligned}
 I_{fl} &= \frac{S}{V\sqrt{3}} \\
 &= \frac{160.000 \text{ v}}{400\sqrt{3}} \\
 &= 230,94 \text{ A}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Nilai arus saat beban penuh diatas digunakan dalam perhitungan persentase pembebanan transformator pada masing-masing *phase*. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan diperoleh nilai arus fase R (I_R) sebesar 107,1 A, arus fase S (I_S) sebesar 59,1 A, dan arus fase T (I_T) sebesar 78,4 A.

$$\begin{aligned}
 \text{a. } \%R &= \frac{I_R}{I_{fl}} \cdot 100\% \\
 &= \frac{107,1 \text{ A}}{230,94 \text{ A}} \cdot 100\% \\
 &= 46,375\% \\
 \text{b. } \%S &= \frac{I_S}{I_{fl}} 100\% \\
 &= \frac{59,1 \text{ A}}{230,94 \text{ A}} \cdot 100\% \\
 &= 25,591\% \\
 \text{c. } \%T &= \frac{I_T}{I_{fl}} 100\% \\
 &= \frac{78,4 \text{ A}}{230,94 \text{ A}} \cdot 100\% \\
 &= 33,948\%
 \end{aligned} \tag{2}$$

Selanjutnya, dapat diketahui nilai dari persentase pembebanan rata-rata dari transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \%x &= \frac{\%R + \%S + \%T}{3} \\
 &= \frac{46,375\% + 25,591\% + 33,948\%}{3} \\
 &= 35,304\%
 \end{aligned} \tag{3}$$

Sistem konsumsi energi listrik oleh pelanggan dikenal dalam dua kondisi yaitu kondisi waktu beban puncak (WBL) pada pukul 17.00 – 22.00 dan luar waktu beban puncak (LWBP). Pada kondisi waktu beban puncak nilai total dari beban yang dipakai pada transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04 bernilai sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S &= \% \times \text{daya pengenalan trafo dalam nameplate} \\ &= 35,404 \% \times 160 \text{ kVA} \\ &= 56,486 \text{ kVA} \end{aligned} \quad (4)$$

3.2 Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator

Ketidakseimbangan beban trafo memiliki standar persentase ketidakseimbangan sebesar 2% berdasarkan SPLN D5.004-1:2012. *regulasi harmonisa, flicker*, dan ketidakseimbangan tegangan. Sebelum mencari nilai persentase ketidakseimbangan beban pada transformator, terlebih dahulu mencari nilai arus beban rata-rata pada kondisi seimbang.

$$\begin{aligned} I &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ &= \frac{107,1 + 59,1 + 78,4}{3} \\ &= 81,534 \text{ A} \end{aligned} \quad (5)$$

Nilai arus beban rata-rata pada kondisi seimbang diatas digunakan untuk mencari nilai koefisien ketidakseimbangan beban pada masing-masing fasa transformator. Koefisien a merupakan koefisien ketidakseimbangan beban pada fasa R, sedangkan b menyatakan koefisien ketidakseimbangan beban pada fasa S, dan c adalah koefisien ketidakseimbangan fasa T.

$$\begin{aligned} \text{a. } \frac{I_R}{I} &= \frac{107,1}{81,534} = 1,31 \\ \text{b. } \frac{I_S}{I} &= \frac{59,1}{81,534} = 0,724 \\ \text{c. } \frac{I_T}{I} &= \frac{78,4}{81,534} = 0,961 \end{aligned} \quad (6)$$

Koefisien ketidakseimbangan beban transformator baik koefisien a, b, dan c menunjukkan beban yang seimbang apabila bernilai 1. Sedangkan pada perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa beban pada transformator tidak seimbang, sehingga dapat dilakukan perhitungan persentase ketidakseimbang (%k) beban transformator.

$$\begin{aligned} \%k &= \frac{(|a-1|) + (|b-1|) + (|c-1|)}{3} \cdot 100\% \\ &= \frac{(|1,31-1|) + (|0,724-1|) + (|0,961-1|)}{3} \cdot 100\% \\ &= 20,834\% \end{aligned} \quad (7)$$

3.3 Perhitungan Arus Netral

Ketidakseimbangan beban pada transformator akan menyebabkan timbulnya arus netral. Arus netral dalam sistem distribusi tenaga listrik dikenal sebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah. Nilai arus netral sendiri akan bernilai nol apabila beban setiap *phase* transformator seimbang, dan apabila beban pada transformator tidak seimbang maka nilai arus netralnya dapat diperoleh dengan perhitungan dibawah ini.

Tabel 2 Data Pembebanan Transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04

Phase	I (Ampere)	V _{F-N} (Volt)	Cos θ	θ
R	107,1	228,7	0,908	24,769
S	59,1	228,3	0,91	24,494
T	78,4	228,6	0,944	19,265
N	38,2			

$$\begin{aligned} I_N &= I_R (\cos\theta + j \sin\theta) + I_S ((\cos(\theta-120^\circ) + (j \sin(\theta-120^\circ))) + I_T ((\cos(\theta+120^\circ) + (j \sin(\theta+120^\circ))) \\ &= 107,1(\cos 24,769 + j \sin 24,769) + 59,1(\cos -95,506 + j \sin -95,506) + 78,4(\cos 139,265 + j \sin 139,265) \\ &= (97,246 + j44,767) + (-5,614 + j-58,804) + (-59,348 + j51,116) \\ &= (32,284 + j37,083) \text{ A} \\ I_N &= \sqrt{32,284^2 + 37,083^2} \\ &= 49,167 \text{ A} \end{aligned} \quad (8)$$

Nilai arus netral pada transformator distribusi 3 *phase* juga dapat digunakan untuk menentukan arah sudut yang dapat memperkuat tanda bahwa transformator bersifat tidak seimbang. Untuk mengetahui arah sudut, menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{37,083}{32,284} = 48,957^\circ \quad (9)$$

Hasil perhitungan yang telah dilakukan diperoleh arus netral yang nilainya lebih besar dibandingkan hasil pengukuran. Hal tersebut dapat dikarenakan kesalahan dalam pembacaan alat ukur ataupun karena tingkat ketelitian dari alat ukur tersebut. Dari perbedaan nilai arus netral berdasarkan hasil perhitungan dan hasil pengukuran, maka diperoleh faktor kesalahan (FK) seperti dibawah ini.

$$FK = \frac{49,167-38,2}{49,167} \cdot 100\% = 22,305\% \quad (10)$$

3.4. Perhitungan Susut Daya Akibat Arus Netral Pada Penghantar Netral Transformator

Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral pada transformator akan menyebabkan rugi daya di sepanjang kawat netral. Rugi daya atau susut daya menyebabkan daya yang sampai di ujung terima akan lebih kecil dari daya ujung kirim dikarenakan adanya penyusutan. Jenis penghantar dan diameter pada penghantar akan mempengaruhi besarnya nilai susut daya pada transformator. Penghantar netral yang digunakan pada transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04 adalah AAAC dengan diameter 70mm². Berdasarkan standar perusahaan umum listrik negara (SPLN) 41-8:1981 penghantar AAAC memiliki ukuran dan konstruksi sebagai berikut.

Tabel 3 Ukuran dan Konstruksi Penghantar AAAC

Luas penampang		Jumlah kawat diameter kawat n/d1	Diameter hantaran kira-kira d2	Berat hantaran kira-kira	Perbedaan berat maksimum	Tahanan DC, 20°C maksimum	Beban putus perhitungan
Nominal	Sebenarnya						
mm ²	mm ²	n/mm	mm	Kg/km		Ohm/km	kg
16	16,84	7/1,75	5,25	46	±2,9	1,955	480
25	27,83	7/1,25	6,75	76	±2,2	1,183	790

Luas penampang		Jumlah kawat diameter kawat n/d1	Diameter hantaran kira-kira d2	Berat hantaran kira-kira	Perbedaan berat maksimum	Tahanan DC, 20°C maksimum	Beban putus perhitungan
Nominal	Sebenarnya						
35	34,36	7/2,5	7,50	94	±2,0	0,958	980
50	49,48	7/3,0	9,0	135	±2,0	0,665	1410
	45,70	19/1,75	8,75	126	±2,9	0,724	1300
55	58,07	7/3,25	9,75	160	±2,0	0,567	1655
70	75,55	19/2,25	11,25	208	±2,2	0,438	2150

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai resistansi pada penghantar netral yang digunakan adalah sebesar 0,438 Ω/km. Sedangkan panjang penghantar sebesar 1947 meter yang dikali dengan 1,03 untuk mempertimbangan andongan penghantar antar tiang. Sehingga, diperoleh nilai panjang penghantar total sebesar 2005,41 m dengan resistansi (RN) dan nilai susut daya (PN) sebagai berikut.

$$R_N = r \times L \quad (11)$$

$$= 0,438 \, \Omega/\text{km} \times 2,00541 \, \text{km}$$

$$= 0,878 \, \Omega$$

$$P_N = (I_N)^2 \times R_N \quad (12)$$

$$= (38,2)^2 \times 0,878 \, \Omega$$

$$= 1459,24 \times 0,878$$

$$= 1281,21 \, \text{Watt}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa semakin besar nilai arus netral dan semakin besar panjang penghantar, maka akan semakin besar pula nilai dari susut daya pada transformator

3.5 Perhitungan Susut Daya Akibat Arus Yang Mengalir Ke Tanah

Arus yang mengalir ke tanah akan menghasilkan susut daya dikarenakan terdapat resistansi pada sistem pentanahan (*grounding*). Resistansi pada sistem pentanahan sendiri besarnya akan dipengaruhi oleh jenis tanah, diameter ataupun jumlah elektrode pada sistem pentanahan. Tabel 3.2 menunjukkan nilai

arus pentanahan sebesar 9,6 A dan resistansi pentanahan 11 Ω . Dari data tersebut dapat diketahui nilai susut daya (P_G) dibawah ini.

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \times R_G \\ &= (9,6)^2 \times 11 \\ &= 1013,76 \text{ Watt} \end{aligned} \quad (13)$$

3.6 Penyeimbangan Beban

Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi 3 *phase* menyebabkan timbulnya arus netral yang dapat menyebabkan terjadinya susut daya. Susut daya pada transformator selain menyebabkan kerugian pada penyedia energi listrik dalam hal ini adalah PT PLN (Persero), juga dapat menyebabkan kurangnya nilai efisiensi dalam penyaluran energi listrik. Oleh karena itu, untuk menangani ketidakseimbangan beban pada transformator, maka perlu dilakukan penyeimbangan beban pada setiap *phase* transformator. Penyeimbangan beban transformator dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu nilai dari arus beban rata-rata.

$$\begin{aligned} I &= \frac{I_R (\cos \theta + j \sin \theta) + I_S (\cos \theta + j \sin \theta) + I_T (\cos \theta + j \sin \theta)}{3} \quad (14) \\ &= \frac{107,1(\cos 24,769 + j \sin 24,769) + 59,1(\cos 24,494 + j \sin 24,494) + 78,4(\cos 19,265 + j \sin 19,265)}{3} \\ &= \frac{(97,247 + j 44,871) + (53,781 + j 24,503) + (74,010 + j 25,861)}{3} \\ &= (\sqrt{75,013} + j 31,745) \text{ A} \\ &= 81,453 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus beban rata-rata berdasarkan perhitungan bernilai 81,453 A sehingga untuk menyeimbangan beban yang ada, setiap *phase* harus memiliki nilai arus yang mendekati nilai arus beban rata-rata.

a. *Phase R*

$$I_R - I = 107,1 \text{ A} - 81,453 \text{ A} = 25,647 \text{ A}$$

Sehingga agar arus beban bernilai seimbang, arus *phase* R dikurangi 25,647 A.

b. *Phase* S

$$I_s - I = 59,1A - 81,453 A = -22,353 A$$

Sehingga agar arus beban bernilai seimbang, arus *phase* S ditambah 22,353 A.

c. *Phase* T

$$I_T - I = 78,4 A - 81,453 A = -3,053 A$$

Sehingga agar arus beban bernilai seimbang, arus *phase* S ditambah 3,053 A.

Tabel 4 Daftar Pelanggan *Phase* R Transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04

No	Nama	Daya(VA)	No	Nama	Daya (VA)
1	Amin Sunariman	2200	25	Letkol.Rahadi	2200
2	ATM BNI 46	3500	26	R.Sosroharjono	2200
3	Arifin	450	27	Wachid Ba	900
4	Sunarto	2200	28	Suroyo	2200
5	Sastrosumarto	450	29	Ny Sri Harijadi	2200
6	Mujiyo	900	30	Ny Sudarmi Hadi S	1300
7	Rianggoro	900	31	H Farid Wadjidi Ir	4400
8	Rekso Pranoto	1300	32	Sie Khiek Cwan	2200
9	Santiko Budiharjo	2200	33	R.Maulani	2200
10	Abdulah	900	34	Setiyono Oetomo	2200
11	Kasimin	450	35	Sri Radiharsi	900
12	R. Atmo Suharjo	450	36	Perumka Pintu Lintas	1300
13	Sudadi Hadisuyoso	900	37	Rudiyanto	2200
14	Rum.Din.Bank.Indo.Bi	3500	38	Perumka Depo Lokomot	4400
15	Rd Bank Indonesia	3500	39	Mess Depo Lokomotif	3500
16	R. Soemanto Ba	2200	40	R. Moerjatmodjo	11000
17	R. Oemar	900	41	Djarot	900
18	Wiyoso Sh	2200	42	Johanes Djoni Adi	1300
19	Darmosugito	5500	43	Ltn.S.Tirtodibroto	5500
20	Soedarman	2200	44	Oey Tho Kwei	5500
21	Liem Tjin Hwa	2200	45	Drs Soemanto Y	1300
22	Naniek Indrawati	11000	46	Cv. Wasmira	2200
23	PT ciptaprima Abdi M	4400	47	Ny Ratna Kartikasari	3500
24	Handri Setyo	2200	48	Sie Soe King	2200

Tabel 5 Daftar Pelanggan *Phase* S Transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04

No	Nama	Daya (VA)	No	Nama	Daya (VA)
1	Ny.Sutari	13200	10	Sutopo	2200
2	Seman	900	11	Drs. Sumanto	900
3	Suroto	450	12	Sarbiyah	450
4	Sutarso	900	13	Kristanti Tati Mulyatni	3500

No	Nama	Daya (VA)	No	Nama	Daya (VA)
5	Umi Pratiwi Se	2200	14	Sri Hatini Sh	11000
6	Soegeng Herdianto	2200	15	Sunarto	1300
7	Sigit Porwono	2200	16	Mat Solihan	900
8	Widyastuti Pornomo	2200	17	CV Dimensi Cipta Karya	1300
9	Soegeng Herdianto	23000			

Tabel 6 Daftar Pelanggan *Phase T* Transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04

No	Nama	Daya (VA)	No	Nama	Daya (VA)
1	PT Adia Tirta	33000	11	Sutopo	2200
2	Msan_Rau	2200	12	Drs. Sumanto	900
3	Mei Asrini	900	13	Sarbiyah	450
4	Daniel Suyanto H.Ir B	5500	14	Kristanti Tati Mulyatni	3500
5	Daniel Suyanto H.Ir A	7700	15	Sri Hatini Sh	11000
6	S Tjipto Sumarto	450	16	Sunarto	1300
7	T. Tjahjo Kartono, S.H.	11000	17	Mat Solihan	900
8	Hetty Widyantini	900	18	CV Dimensi Cipta Karya	1300
9	Rumdin Pln	900	19	Rajini	450
10	Endang Lestari Widiastuti	1300			

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dilakukan penyeimbangan dengan menambahkan beban 22,353 A pada *phase R* dipindahkan ke *phase S*, dan beban 3,053 A pada *phase R* dilimpahkan ke *phase T*. Saat waktu beban puncak (WBP) pemakaian energi listrik pada setiap pelanggan senilai 0,363 kali dari daya kontraknya. Nilai 0,363 merupakan nilai dari daya beban saat pengukuran dilakukan pada waktu beban puncak dibagi dengan daya pengenalan pada nameplate. Sedangkan daya pelanggan jika di konversikan dalam arus yaitu 450 VA menjadi 2 A dimana 450 VA dibagi dengan 220V, begitu juga dengan daya pelanggan lainnya. Berdasarkan nilai arus tersebut dapat dilakukan penyeimbangan beban transformator 3 *phase* sebagai berikut.

$$a. I_R = 107,1 - ((62 \text{ A} \cdot 0,363) + (8 \text{ A} \cdot 0,363)) = 81,69 \text{ A}$$

Nilai 62 A dan 8 A pada perhitungan diatas diperoleh dari perkalian pelanggan dengan konversi arus dari daya kontraknya.

$$b. I_s = 53,781 \text{ A} + (62 \text{ A} \cdot 0,363) = 81,606 \text{ A}$$

$$c. I_T = 78,4 \text{ A} + (8 \text{ A} \cdot 0,363) = 81,304 \text{ A}$$

Pembebanan transformator yang telah bernilai seimbang, maka akan dihasilkan nilai arus netral sebagai berikut.

$$\begin{aligned} I_N &= I_R (\cos\theta + j \sin\theta) + I_s ((\cos(\theta-120^\circ) + (j \sin(\theta-120^\circ))) + I_T ((\cos(\theta+120^\circ) + (j \sin(\theta+120^\circ))) \\ &= 81,69 (\cos 24,769 + j \sin 24,769) + 81,606 (\cos -95,506 + \sin -95,506) + 81,304 (\cos 139,265 + j \sin 139,265) \\ &= (74,174 + j34,146) + (-7,752 + j-81,197) + (-61,547 + j53,01) \\ &= (4,875 + j5,959) \text{ A} \\ &= \sqrt{4,875^2 + 5,959^2} \\ &= 7,699 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{5,959}{4,875} = 50,713^\circ$$

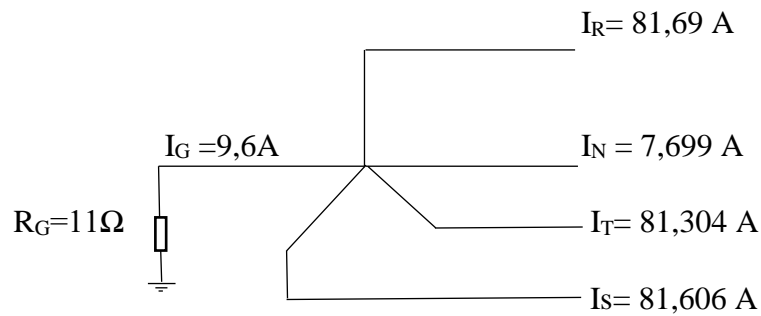
Setelah dilakukan penyeimbangan beban, maka skema aliran arus pada transformator BSJ010 dan nilai susut daya akibat arus netral pada penghantar netral transformator yang dihasilkan menjadi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} R_N &= r \times L \\ &= 0,438 \text{ } \Omega/\text{km} \times 2,00541 \text{ km} \\ &= 0,878 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_N &= (I_N)^2 \times R_N \\ &= (7,669)^2 \times 0,878 \text{ } \Omega \\ &= 58,813 \times 0,878 \\ &= 51,63 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Nilai susut daya yang dihasilkan dari arus netral pada penghantar netral transformator distribusi 3 *phase* setelah dilakukan penyeimbangan beban menjadi jauh lebih kecil dibandingkan dengan saat beban pada transformator dalam kondisi tidak seimbang. Hal tersebut membuktikan bahwa ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi 3 *phase*

menyebabkan kerugian yang apabila terjadi secara terus menerus kerugian yang dihasilkan akan semakin besar. Kerugian yang dihasilkan dari ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi 3 *phase* ini selain dirasakan oleh PLN selaku penyedia tenaga listrik, juga akan dirasakan oleh pengguna energi listrik.



Gambar 3 Skema Aliran Arus Transformator Setelah Penyeimbangan Beban

3.7 Simulasi Ketidakseimbangan Beban Transformator Pada Aplikasi ETAP

Tabel 7 Nilai arus netral simulasi ETAP 12.6.0

Bus		Voltage			Generation		Load		Load Flow						XFMR
ID	kV	Phase	% Mag	Ang	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	Phase	MW	Mvar	Amp	% PF	% Tap
* Bus1	150.000	A	100.000	0.0	0.012	0.010	0	0	Bus18	A	0.012	0.010	0.2	78.0	
		B	100.000	-120.0	0.017	0.006	0	0		B	0.017	0.006	0.2	93.7	
		C	100.000	120.0	0.018	0.012	0	0		C	0.018	0.012	0.2	81.7	
										N			0.0		
Bus3	20.000	A	99.991	-30.0	0	0	0	0	Bus18	A	-0.014	-0.013	1.6	74.5	
		B	99.995	-150.0	0	0	0	0		B	-0.014	-0.007	1.3	90.1	
		C	99.993	90.0	0	0	0	0		C	-0.019	-0.009	1.8	90.0	
										N			0.0		
									Bus4	A	0.014	0.013	1.6	74.5	
										B	0.014	0.007	1.3	90.1	
										C	0.019	0.009	1.8	90.0	
										N			0.0		
Bus4	0.400	A	98.325	-60.5	0	0	0	0	Bus5	A	0.021	0.012	106.4	86.0	
		B	99.140	179.8	0	0	0	0							
		C	98.793	59.7	0	0	0	0		N			106.4		
									Bus6	B	0.011	0.006	54.3	85.5	
										N			54.3		
									Bus7	C	0.015	0.009	76.7	85.7	
										N			76.7		
									Bus3	A	-0.021	-0.012	106.4	86.0	
										B	-0.011	-0.006	54.3	85.5	
										C	-0.015	-0.009	76.7	85.7	
										N			45.3		

Simulasi ketidakseimbangan beban transformator pada software ETAP 12.6.0 bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari ketidakseimbangan beban transformator 3 *phase* terhadap sistem distribusi energi listrik.

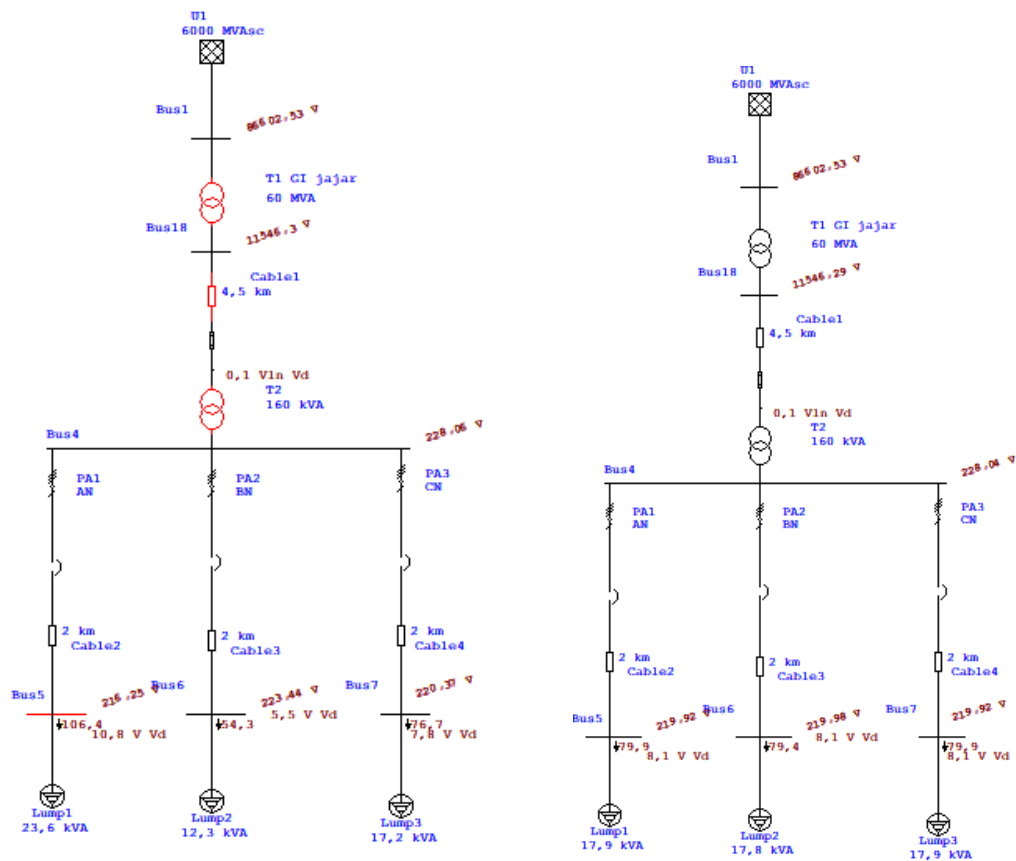
Simulasi yang digunakan pada ETAP 12.6.0 yaitu simulasi *unbalance load flow analysis*. Hasil simulasi ETAP 12.6.0 dibawah ini merupakan tabel *unbalance load flow report* menunjukkan phase yang dilambangkan A untuk fase R, B untuk fase S dan C untuk fase T dan fase netral. Berdasarkan gambar 3.3 hasil simulasi ETAP 12.6.0 tersebut menunjukkan nilai arus netral yang dihasilkan yaitu 45,3 A mendekati nilai dari pengukuran ataupun dalam perhitungan. Bus 3 dalam rangkaian berada diatas trafo 2.

Tabel 8 Nilai susut daya hasil simulasi ETAP 12.6.0

<u>Branch Losses Summary Report</u>											
CKT / Branch		From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag	Ampere in Buried Winding
ID	Phase	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To		
Cable1	A	0.014	0.013	-0.014	-0.013	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00	0.00
	B	0.014	0.007	-0.014	-0.007	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00	0.00
	C	0.019	0.009	-0.019	-0.009	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00	0.00
Cable2	A	0.021	0.012	-0.020	-0.012	1.2	0.2	98.3	93.6	4.69	0.00
Cable3	B	0.011	0.006	-0.010	-0.006	0.3	0.1	99.1	96.8	2.39	0.00
Cable4	C	0.015	0.009	-0.014	-0.009	0.6	0.1	98.8	95.4	3.37	0.00
T1 GI Jajar	A	0.012	0.010	-0.014	-0.013	-1.9	-2.9	100.0	100.0	0.01	0.00
	B	0.017	0.006	-0.014	-0.007	3.5	-0.2	100.0	100.0	0.00	0.00
	C	0.018	0.012	-0.019	-0.009	-1.5	3.1	100.0	100.0	0.01	0.00
T2	A	0.014	0.013	-0.021	-0.012	-6.7	0.3	100.0	98.3	1.67	0.00
	B	0.014	0.007	-0.011	-0.006	3.0	0.2	100.0	99.1	0.86	0.00
	C	0.019	0.009	-0.015	-0.009	4.1	0.2	100.0	98.8	1.20	0.00
						2.6	1.1				

Berdasarkan Tabel 8 menunjukkan nilai data susut daya pada simulasi ETAP 12.6.0 yang mana *from to bus flow* menunjukkan nilai daya yang terdapat masing-masing *phase* pada kabel ataupun trafo pada simulasi. Sedangkan *to from bus flow* menunjukkan daya yang terpakai pada sistem distribusi simulasi ETAP 12.6.0, sehingga dapat diketahui nilai *losses* yang tertampil pada tabel *branch losses summary report* diatas.

Berdasarkan hasil *run* dari *single line diagram* pada gambar 4, trafo 1 GI jajar, trafo 2, kabel 1 mengalami negatif dan positif *sequence* yang menandakan bahwa pembebanan arus transformator bernilai tidak seimbang. Pengaruh dari ketidakseimbangan beban trafo selain



Gambar 4 Perbedaan ketidakseimbangan beban (kiri) dan beban yang seimbang (kanan) pada ETAP

3.7 Hasil perhitungan arus netral dan susut daya pada wilayah kerja ULP Manahan

Wilayah kerja ULP manahan terdapat 15 trafo distribusi yang terletak di daerah Jl.RM Said, Jl Wuni, Jl Tanjung, Klodran, Jl Adi soemarmo, jeron, dan menggungan. Data yang ditampilkan dalam penelitian ini merupakan data hasil pengukuran yang dilakukan pada bulan oktober pada pukul 19.15 sampai pukul 20.15, yaitu dalam kondisi waktu beban puncak.

Tabel 9 Data kondisi pembebanan wilayah kerja ULP Manahan

No	No Tiang	Daya (kVA)	Arus beban (A)				Cos θ (°)			I _G (A)	R _G (Ω)
			R	S	T	N	R	S	T		
1	JJR010/JJR02070 U012 T04	160	107,1	59,1	78,4	38,2	0,908	0,91	0,944	9,6	11

No	No Tiang	Daya (kVA)	Arus beban (A)				Cos θ (°)			I _G (A)	R _G (Ω)
			R	S	T	N	R	S	T		
2	JJR06/JJR013 033	50	13,4	6,4	3,2	2,3	0,879	0,94	0,896	5,1	8,4
3	JJR06/JJR013 23	50	2,4	2,1	0	1,4	0,986	0,956	0,956	3,2	5
4	JJR07 077 T04	200	78,4	57,6	78,2	21,5	0,882	0,945	0,932	5,7	9
5	JJR07 077 T012	50	4,5	8,7	5,4	4,1	0,967	0,981	0,953	6,1	9,8
6	JJR08 085	50	3,2	2,8	6,4	4,5	0,89	0,978	0,907	3,4	5
7	JJR01 084 S03	100	3,2	0	4,2	2,4	0,979	0,98	0,948	7,3	7
8	JJR07 077 U02	100	40,2	31,1	0	9,2	0,871	0,989	0,865	4,3	18,3
9	JJR07 072 B022	100	51,4	39,3	47,8	5,2	0,926	0,965	0,965	3,3	8,2
10	JJR07 074	50	10,2	4,4	4,5	4,6	0,921	0,897	0,943	3,9	7,8
11	JJR010/JJR02	160	32,1	26,5	11,3	0	0,911	0,956	0,9	6,1	5,4
12	JJR07 209	100	2,1	4,3	0	2,1	0,9	0,979	0,897	5,7	8,4
13	JJR07 214	200	79,8	65,7	58,4	25,4	0,983	0,908	0,961	3,8	10
14	JJR07 0210 U020	100	16,4	23,4	17,6	8,4	0,951	0,906	0,9	2,9	26,2
15	JJR08 0104	50	18,3	10,4	12,8	4,6	0,987	0,898	0,923	5,5	8,9

Berdasarkan data pada tabel 9 dilakukan perhitungan seperti pada transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04 pada penelitian ini, maka dihasilkan data yang tertampil pada tabel 3.8.

Tabel 10 menunjukkan pengaruh dari ketidakseimbangan beban transformtor distribusi 3 *phase*, yang mana S (kVA) menunjukkan nilai total beban yang digunakan pada masing-masing transformator, %k menunjukkan nilai persentase ketidakseimbangan beban transformator yang semua nilainya diatas dari standar yang ditentukan yaitu sebesar 2 %, I_N merupakan arus netral yang diperoleh dari perhitungan, P_N merupakan susut daya akibat penghantar netral sedangkan P_G adalah susut daya akibat arus yang mengalir ke tanah. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dapat diketahui bahwa nilai total beban yang digunakan tersebar pada transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04 yaitu sebesar 56,49 Watt. Sedangkan nilai persentase ketidakseimbangan terbesar yaitu pada trafo JJR07 209. Nilai arus netral dn susut daya akibat penghantar netral dan arus yang mengalir ke tanah nilai terbesar pada trafo JJR010/JJR02 070 U012 T04.

Tabel 10 Hasil perhitungan pengaruh ketidakseimbangan beban trafo wilayah ULP Manahan

No	No Tiang	S (kVA)	%k	I_N (A)	P_N (Watt)	P_G (Watt)
1	JJR010/JJR02 070 U012 T04	56,49	20,904	49,184	1281,21	1013,76
2	JJR06/JJR013 033	3,695	49,855	8,21	0,715	218,484
3	JJR06/JJR013 23	1,039	33,34	2,511	0,309	51,2
4	JJR07 077 T04	44,66	4,3	29,46	202,465	292,41
5	JJR07 077 T012	4,295	26,88	4,227	6,825	364,658
6	JJR08 085	2,771	36,559	4,086	5,933	57,8
7	JJR01 084 S03	1,709	33,56	3,432	2,078	373,03
8	JJR07 077 U02	16,47	33,3	25,34	29,027	338,367
9	JJR07 072 B022	29,19	9,915	15,52	18,298	89,298
10	JJR07 074	4,411	40,13	6,215	4,402	118,638
11	JJR010/JJR02	14,85	34,33	15,29	0	200,934
12	JJR07 209	1,478	11,47	3,215	1,473	32,49
13	JJR07 214	43,83	11,607	32,086	400,981	144,4
14	JJR07 0210 U020	13,26	14,866	8,4181	30,534	220,342
15	JJR08 0104	7,76	21,52	7,19	8,202	269,225

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Akibat dari besarnya nilai ketidakseimbangan beban transformator 3 phase akan menyebabkan susut daya pada penghantar netral dan penghantar pentahanan yang menyebabkan kerugian bagi penyedia tenaga listrik.
2. Pada kondisi waktu beban puncak nilai arus netral yang dihasilkan oleh transformator JJR010/JJR02 070 U012 T04 adalah sebesar 49,167 A.
3. Susut daya terbesar yang dihasilkan akibat arus netral pada penghantar netral transformator wilayah kerja ULP manahan terbesar adalah 742,753Watt pada trafo JJR010/JJR02 070 U012 T04.
4. Nilai susut daya yang diakibatkan arus yang mengalir ke tanah pada transformator wilayah kerja ULP Manahan adalah sebesar 1013,76 Watt pada trafo JJR010/JJR02 070 U012 T04.

5. Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi 3 *phase* dapat diminimalisir dengan melakukan penyeimbangan beban pada setiap *phase* transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- Kadir, Abdul. 1889. Transformator. Jakarta: PT Elex Media Komputindo
- SPLN 41-8:1981."Hantaran aluminium campuran (AAAC)". Perusahaan Listrik Negara
- Simamora, Yoakim.,& Tobing, Panusur S.M.L., 2014. Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih Dan Estimasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah, Vol 7 NO 3, Juni 2014.
- Siregar, Rizky Syahputra.,& Harahap, Raja.,2017. Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi Dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fase 20kV/400V di PT.PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban, *journal of electrical technology*, Vol.2, No 3,Oktobre 2017.
- Waluyo., Fahdiyalhaq, Aulia Nur., Saodah, Siti.,2017. *Calculating Analysis Of Power Losses On The Medium Voltage Feeders And Distribution Transformer, International Journal Of Applied Engineering Research*. ISSN 0973-4562 Vol 12 Number 14.
- Dickson K.Chembe, Member, IAENG.,(2009). *Reduction Of Power Losses Using Phase Load Balancing Method In Power Networks. Proceedings Of The World Congress On Engineering And Computer Science* Vol 1.
- SPLN D5.004-1:2012. Regulasi *Harmonisa, Flicker, Dan Ketidakseimbangan Tegangan*.